

지진력 분산장치를 설치한 다경간 연속교의  
내진성능향상에 관한 실험연구  
Experimental Study on the Seismic Performance of Continuous  
Bridge Model with Seismic Load Transmitting Devices

배민혁\*                      김재관\*\*                      김익현\*\*\*  
Bae, Min Hyuk              Kim, Jae Kwan              Kim, Ick Hyun

-----  
**ABSTRACT**

A multi-span bridge model that is fixed in longitudinal direction at a single pier can be very vulnerable to the earthquake ground motion in longitudinal direction. If the seismic load exceeds the capacity of the pier, it can be severely damaged. However, such incident can be prevented if piers of movable support share the seismic load as setting up seismic load transmitting device. This study is performed to investigate seismic performance of continuous bridge model with seismic load transmitting devices which is proposed newly. It is found that continuous bridge model system with device is more effective about displacement control and seismic performance.

-----

**1. 서 론**

일점고정다경간 연속교일때에 지진하중이 교축방향으로 작용하면 상부의 큰 관성력이 고정단교각에 집중적으로 작용하게 된다. 만약 지진하중이 교각의 공급성능보다 크게 작용한다면 파괴를 일으킬 수 있다. 그러나 지진력 분산장치를 설치하면 지진하중에 의한 상부의 큰 관성력이 고정단교각 뿐만아니라 가동단교각에서도 충격에너지로 흡수하여 지진력을 분담함으로써 내진성능이 향상된다. 이 논문에서는 지진력 분산장치를 설치한 다경간연속교의 교량모델의 진동대실험을 수행하여 연속교 교량모델의 거동을 살펴보고, 내진성능의 향상을 확인하여 본다.

\* 삼안건설기술공사, 사원

\*\* 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수

\*\*\* 정회원, 울산대학교 지구환경시스템공학부 교수

## 2. 교량모델의 진동대실험

### 2.1 교량모델의 상사율

진동대 시험의 대상이 되는 실교량은 PSC Box교로서 경부선 115.5 km 지점에 건설된 원형단면을 가지는 미호천교이다. 모델교량은 4경간 연속교로 각 경간길이는 40m이고, 총길이는 160m이다. 상부구조는 강박스 구조로 교축방향으로 하나의 교각에 고정되어 있어 지진 시 교축방향으로 큰 관성력이 고정교각에 집중되는 구조적 특성을 지니고 있다. 진동대실험을 수행한 교량모델의 상사율은 표 1과 같다.

표 1. 진동대실험모델의 상사율(Scale Factors)

변수(Variables)	실교량(Prototype)	실험모델(Model)
응력 (Stress similarity)	$\sigma_p = E_p = \tau_p = 1$	$\sigma_m = E_m = \tau_m = 1$
힘(Forces)	$F_p = E_p L_p^2 = 1$	$F_m = E_m L_m^2 = 1/64$
질량(Mass)	$m_p = \rho_p L_p^3 = L_p^3 = 1$	$m_m = \rho_m L_m^3 = L_m^3 = 1/512$
하중(Impact loading case)	$E_p / \rho_p = L_p^2 / t_p^2 = 1$	$E_m / \rho_m = L_m^2 / t_m^2 = 1$
속도(Impact-wave velocity)	$V_p = L_p / t_p = 1$	$V_m = L_m / t_m = 1$
가속도(Acceleration)	$b_p = E_p / (\rho_p L_p) = 1 / L_p = 1$	$b_m = E_m / (\rho_m L_m) = 1 / L_m = 1/8$

### 3.2 교량모델의 제원

시험체의 크기는 실험장치 및 시험장소의 용량을 고려하여 1/8 Scale로 기초부 40cm, 교각과 캡 빔부 190cm 로 교각부의 형상은 원형단면으로 제작하였으며, 실교량모델과 시험체와의 비교를 표 2에서 나타내었다.

표 2. 원형모델과 시험체의 제원

		Prototype	Model (1/8 Scale)
재료강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	콘크리트	240(설계강도)	240
	철근	SD30	SD30
D:지름(m)		3.5	0.4
H:높이(m)		14.0	1.9
주철근	지름	D25	D10
	개수	102	20
	철근비(%)	0.52	1.25
횡철근	지름	D19	φ3.3 cm
	Spacing	20cm * 2겹	3cm
	철근비(%)	0.344	0.26

### 3.3 실험 방법

교량모델의 진동대실험에 사용한 입력지진파는 상사율을 고려한 El Centro(1940, N-S 성분, PGA = 0.319g)이고, PGA를 변화 시키면서 응답을 관찰하였다. 그리고 지진력 분산장치를 설치하여 장치와 가동단에 부착된 충격흡수체와의 간격을 바꾸어가면서 실험을 하였다. 그림 2은 그림 1의 진동대 실험 전경에서 장치부와 충격흡수체의 부분을 확대한 그림이며, 2mm 두께의 철판을 사용하여 간격을 조절하는 것을 나타내고 있다.

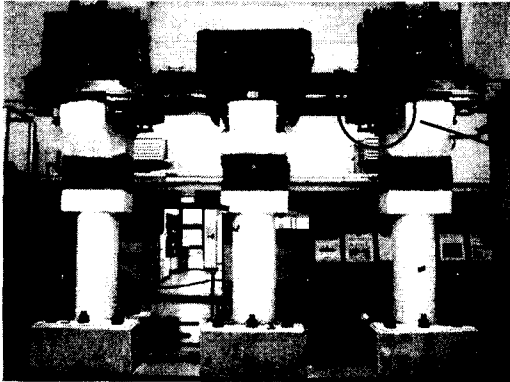


그림 1. 실험전경

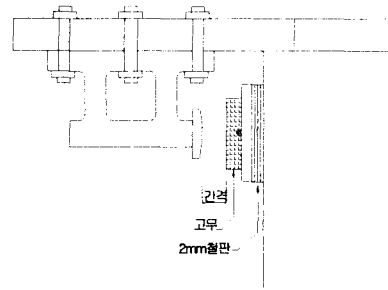


그림 2. 장치부와 충격흡수체(고무)

### 3.3 실험 결과

#### (1) 고정단교각의 상대변위

먼저 El Centro, PGA 1.2g를 입력지진파로 하여 고정단교각에서의 상대변위의 최대값을 장치를 부착하지 않았을 경우와 부착하였을 경우 각각의 간격에 따라서 그려보았다.

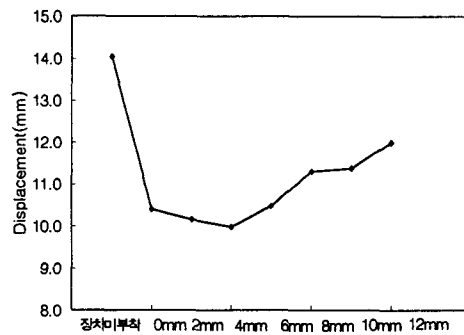


그림 3. Case1 과 Case2의 상대변위

위의 그래프를 보면 장치를 부착하지 않았을 경우의 고정단 교각에서 상대변위는 약 14mm 가 측정되었으나 장치를 부착하고 나서 간격을 0mm, 2mm, 4mm 까지는 거의 비슷하게 변위가 줄어들고 있음을 알 수 있다. 진동대 실험으로부터 구한 교각의 강성과 해석프로그램을 사용하여 구한 항복하중으로부터 교각의 항복변위가 14mm로 산출되었다. 이것은 장치를 부착하지 않은 교량모

텔의 경우 입력지진과 PGA 1.2g 일 때는 소성변형이 발생하는 것을 알 수 있다. 그러나 장치를 부착한 다음 변위가 줄어들어 탄성상태 내에서 거동을 하여 내진성능이 향상되는 것을 알 수 있다. (5)

### (2) 충격가속도

지진력 분산장치를 부착했을 경우와 부착하지 않았을 경우에 최대 상대변위의 차이가 가장 큰 간격이 4mm 이었다. 충격가속도의 변화를 보면 최대 충격가속도 또한 가장 큰 간격은 4mm이다. 충격력이 최대일때에 가동단교각에서 손상의 우려가 있으므로 내진성능향상에는 좋지 않은 영향을 미친다. 변위와 충격가속도를 같이 고려하면 오히려 간격이 0mm일 때가 내진성능향상에 좋다고 할 수 있을 것이다. 그리고, 4mm일때의 충격가속도가 최대인 9.5g 일때도 실교량모델의 상사율을 적용하여 실교량모델에서 충격가속도를 구해보면 약 1.2g 정도이다. 즉, 실교량에서 입력지반 가속도가 0.15g일 때 장치부에서 1.2g의 충격가속도가 측정되었는데, 충돌실험에서 보다 훨씬 작은 충격가속도가 측정되었다. 따라서 충돌할 때 장치부와 가동단교각의 아주 급작한 파괴는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

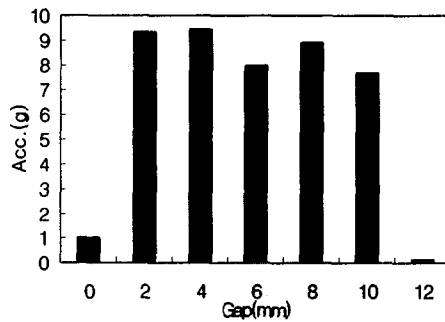


그림 6. 간격별 충격가속도의 최대값

### (3) 내진성능향상도

교량모델의 진동대 실험에서 확인할 수 있었던 내진성능이 향상되는 것을 여러 결과들로부터 알 수 있었다. 이러한 내진성능의 향상이 얼마나 되었는지를 정량적으로 나타내어 그래프로 나타내어 보았다.

먼저 지진력 분산장치를 이용하여 내진성능을 향상시키는 것은 가동단교각의 강성을 발휘시켜서 교량전체시스템의 강성을 증대시키고, 이것이 교량상부구조의 변위를 줄임으로써 내진성능을 향상시키는 것이다. 즉, 그림 7과 같이 나타내어질 수 있다. 따라서 내진성능향상도는 지진력 분산장치를 부착하였을 경우와 부착하지 않았을 경우에 고정단 교각강성의 비교를 통하여 나타내어 보았다.

$$\text{내진성능향상도} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{P/D_2}{P/D_1} = \frac{D_1}{D_2} \text{ 이다.}$$

$k_1$  = 장치미부착교량의 고정단 교각강성

$k_2$  = 장치부착교량의 고정단 교각강성

$D_1$  = 장치미부착교량의 상대변위

$D_2$  = 장치부착교량의 상대변위

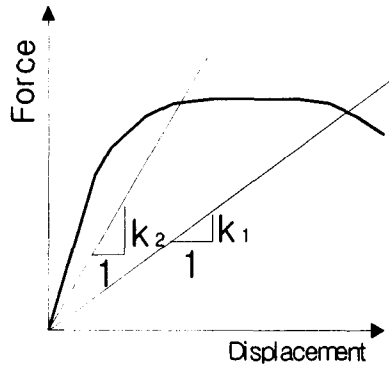


그림 7. 내진성능향상 개념도

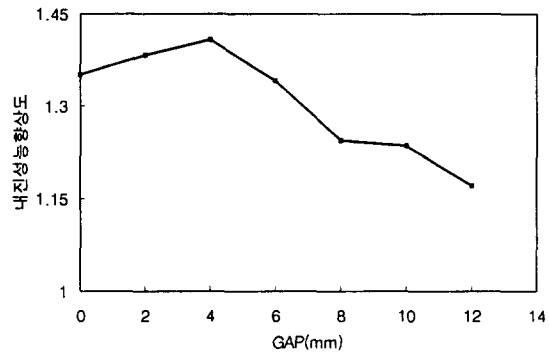


그림 8. 내진성능 향상도

EI Centro PGA 1.2g를 입력지진파로 하여 구한 변위의 최대값으로부터 강성비를 통한 내진성능 향상도의 그래프를 (그림 8)에 나타내었다.

그래프를 보면 0mm, 2mm, 4mm 일때가 내진성능향상이 가장 많이 되었음을 확인할 수 있다. 그러나, 2mm일때와 4mm일때는 충격가속도가 0mm 일 때 보다 현저히 큼을 알 수 있었다. 충격가속도가 크면 교각파괴의 우려가 있으며, 내진성능향상에 좋지않은 영향을 주는 것이 확실하기 때문에 간격이 0mm일 때에 내진성능향상이 가장 좋다는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

진동대실험을 통해 EI Centro PGA 1.2g을 입력지진파로 하였을 경우 장치를 부착하지 않은 교량에서는 약간의 소성변형이 발생하였으나, 지진력 분산장치를 설치한 교량모델에서는 탄성 변형내에서 거동하는 것을 확인하였다. 지진력 분산장치를 설치한 교량의 진동대 실험을 통하여 교량의 전체적인 거동이 지진력 분산장치를 설치하지 않은 교량보다 내진성능이 향상되는 것을 확인하였다.

#### 감사의 글

이 연구는 서울대학교 지진공학 연구센터를 통한 한국도로공사와 (주)유니슨에서 시행하는 낙교 방지장치의 개발사업으로 수행된 것입니다. 또한 이 연구는 BK21 사업단의 지원금에 의한 것입니다. 이에 감사를 드립니다. 실험을 위해서 많은 지원을 해주신 한국기계연구원 관계자 여러분께도 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, 콘크리트 표준시방서, 서울, 1996.
2. 건설교통부, 도로교 표준시방서, 서울, 1996.
3. 김병철 “충격을 이용한 지진력 분산장치와 다경간 연속교의 내진성능향상을 위한 확률적 적용 방법 연구”, 석사학위논문, 서울대학교, 2001
4. 조계운 “충격을 이용한 지진력 분산장치의 설계방법과 내진성능향상 효과에 관한 연구”, 석사학위논문, 서울대학교, 2002
5. 이영수 “다경간연속교의 내진성능향상을 위한 지진력 분산장치의 충격에 의한 국부파괴에 관한 실험적 연구”, 석사학위논문, 서울대학교, 2002
6. 김익현, 김재관, 임현우, 전귀현, “전단키를 이용한 다경간연속교의 내진성능향상방법”, 대한토목학회 학술발표대회 논문집, 1999, pp577-580
7. [11] Chopra, A. K. , “Dynamics of Structures”, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995